



TITLE:

# 統数研研究会「動的システムの構築と記述に向けて」企画書

AUTHOR(S):

---

CITATION:

統数研研究会「動的システムの構築と記述に向けて」企画書. 物性研究 1997, 68(1): 124-130

ISSUE DATE:

1997-04-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/96010>

RIGHT:

## 統数研研究会「動的システムの構築と記述に向けて」 企画書

場所: 統計数理研究所 (東京都港区)

日程: 1994 年 12 月 14(水)・15(木)

世話人: 橋本 敬 (東大教養/D2)、山本知幸 (東大教養/D1)、山口明宏 (北大理/D2)

### 趣旨

93 年の京大基礎物理研の研究会「複雑系 2」の後の電子メール討論に端を発し、合宿形式の研究会「複雑系夏の学校」を開こうという企画がもちあがった。その時は夏の研究会の世話人などを含む「複雑系夏の学校準備会」がつくられたが、夏の学校の実現にまで至らなかった。その後世話人達は、夏の学校に向けて研究者間の交流や議論を深めるためもありこのような研究会を企画することになった。ただし、準備とはいえ独立した研究会の形式をとり、複雑系の抱えるいくつかの中心的テーマを掘り下げて分野の方向付けを確立するために行う。

今回の研究会のテーマは、動的に変化し続ける関係性の理解に向けた手法の追求にある。複雑系の分野において、何故システムが複雑に見えるのかという理由の一つとして「因果律が多対多になっている」という説明がある。それは、対象の中の構造があまりにも複雑である場合もあるであろうし、因果律が時間と状態に応じて変化することによる場合もあると考えられる。この研究会では、「時間とともに発展する関係性」を追求する事にしたい。普通、論理で捉える事のできる因果律は「一対一」である(厳密性の要請)のために、このような構造を表現する事が難しい。

また、関係が一対一であるということは、時間を消去した静的な表現であるともいえる。静的な記述法はグラフにするなどして視覚的に表現する事が容易であるために発展してきたとも考える事ができる。それは、人間の感覚において視覚が非常に優位に立っている現状と関連付けられる筈であり、もちろん自然科学においてもそれは当てはまる。多対多の因果律を表現するためには静的な表現方法では困難であるとするならば、我々は異なる記述方法を開発しなくてはならない。

一方、視覚的な手法では変化する関係性を表現できないとすれば、我々は何の様にして複雑なシステム(社会や生態、運動など)を把握して来たのであろうか。単に見ることだけでは捉えられない動的関係に焦点を当てて、人間の思考様式を多方面からの評価することにした。

我々は、以上の議論を踏まえてこの問題に挑むために次のような方面からのアプローチを試みる。まず、現状でどのような問題があるかという事を明らかにするために機械(メカニズム)と力学系を中心に上げる。そして人間の思考方法の歴史を通じて今後どのような方法が可能かという事を検討する。

# 1 題目

## 1.1 機械

ここでは、機械というものを人間の作ったシステムのメタファーとして扱う事にする。機械とは、要求される仕様を満たすべく作られた「もの」である。それらはある機能を果たすべく仕様書が書かれ、それを設計図に描き、そして実装される。では、「機械／システムの実体」とは、何か。それらは必ずしも仕様の実現ではなく、設計の実体化でもない。「実体」「設計」「仕様」の3者にはかなりのギャップがあると考えてよい。設計図に描くという事は、システムを(言語ではない)ある形式的な方法で記述しているのである。その「設計」に、機械の運動を全て書き尽くす事は、システムが複雑になるにつれ困難になってゆく。

まず、システムが複雑になればなるほど記述しなくてはならなくなる機能の組合せが増えてしまい、組合せ論的爆発を起こす。そのため言葉で表現して列挙することが不可能になる。次に、「副作用」が生じる場合がある。これは、設計した機能に直接関係無い部分が機能を発現してしまうという事態である。それらを防ぐために、システムは相互干渉を起こさないようにモジュールに細分化され、各要素の内部での「安全性」を検証するようになっていく。しかし、モジュールを結合する以上、僅かな干渉が非線形的な相互作用によって増幅され、システムに予期されない挙動を起こさせる可能性は常に存在する。

現在までは干渉をどう防ぐかという観点から論じられている。しかし、例えば生体内では干渉を殺すのではなく相互作用として積極的に生かして効率を上げているように見える。システムの挙動は人間に全く理解できないものかといえ、必ずしもそうではない。実際によく機能しているシステムは多く存在している。しかし、そのためには例えば「職人芸」というものが要求される。このような暗黙的な知識の実体とは何であろうか。それを陽に書き下す方法が、すなわちシステムの記述である。ここでは機械システム、都市、情報システムいずれかの研究者を講師とする。

## 1.2 生態系

つぎに、生物のつくる動的に発展する関係の例として生態系を取りあげる。熱帯雨林を例にあげると、温帯の森林などと比べて非常に多くの種がそれぞれ多様な戦略を用いて複雑なネットワークを構成している。種は入れ替わりがおこり、環境も変化するので、関係のネットワークも動的に変化していると考えられる。しかし1つまたは少数の種によって占領されてしまうことはなく種の多様性を「維持」している様に見える。それは多分我々が意識的に作ってきたどんなものよりも「動的に複雑」な対象である。

では、その対象をどうすれば把握し、理解し、願はくは構築してゆけるだろうか。生態学ではよく、ある2種間の相互関係を競争、共生というかたちで分類してきた。このやり方では、静的な論理を作れてもそれは時間変化が無い場合にしか厳密ではない。また、多数の種が空間、資源を共有する事から三体以上の多体効果を考慮すべきであると考えられるし相互作用は非線形的であると考えられる。そのために局所的な関係の積み上げというアプローチでは系全体を理解することには至らないと思われる。一方、個々の関係を書き下すよりも一つの資源を基準にしてその奪いあいにより関係を記述する方法も可能である。この場合は濃度ダイナミクスの描像での関係を表すには都合が良いが、宿主=寄生関係など個々の種や個体の離散性が効いて来る場合は妥当

ではない。

現在、複雑系の分野では進化の研究と関連して生態系をモデルで構成するという研究が行なわれている。この方法には、成功すれば生物や生態系の現在の姿のみならず「あり得た姿」をも解き明かす可能性が含まれているが、それは多対多の関係をどう表現するかという部分で模索が続けられている。しかし、まだ研究は途上であり、多様性に向かう進化が明確な形で得られているわけではない。将来的には個々の生物の認識方法がどのようなものであるかということの研究し、それを基にして「内から見た」形で種間、個体間相互関係の記述を行なうという方向も可能ではないかと考えられる。

とくに現実の系とモデルを共に対象にしている研究者に、現状ではどの様なアプローチががなされていて、今後どの様な方向が可能か共に討論したい。

### 1.3 力学系

自然(あるいは抽象的な対象)のモデルを考え、それを方程式の形にして表現し、その性質を記述して理解に至るという手法は物理学に典型的である。しかし、この方法にも前項と同様な深いギャップが存在する。モデルが対象を表現しているかという問題は常に論じられているので、ここでは方程式で記述された「力学系」とその「解釈」のギャップを中心に話を進めることにしたい。

その問題を我々に直面させたのがカオスの存在である。確定的に記述されているものが予測不能な振舞をするという事は、書いたものが理解できないという事である。その例としてここでは三体問題を挙げておく事にする。運動方程式自体は非常に単純であるが、解析解は存在しない。そして相空間の構造は非常に複雑で、その全貌は未だ解明されていない。また、本来動的な現象であるカオスを記述するのにも終状態(アトラクター、安定固定点)であるとか、線形安定性(リアプノフ数、安定/不安定多様体)、周期軌道などの静的あるいは還元論的な手法が多く用いられている。決してカオスそのものが記述されている訳ではない。それが「動的な記述」の必要性を示している。

### 1.4 視覚とその呪縛

前述の通り、現在の科学では広い意味で視覚的な記述方法が主流である。事物の認識としての絵画という手法は文字の成立以前から存在していた筈で視ることは認識の大きな手段であり、視覚化することは理解の手段でもある。思考の歴史として絵画の変遷を調べられる所謂でもある。ここでは、「記述手法」というものを将来に向けて拡張してゆくために、視覚的手法の便利さと限界を探ることにしたい。

まずはじめに、いかにして視覚優位な認識方法が成立したかを考え直してみることにする。この視覚の優位性の確立に大きな影響を与えたと思われるのが、遠近法の成立であると考えられる。これは単に絵画制作上のテクニックにとどまらず、空間の認識方法を規定し、さらには思考方法にも影響を及ぼしているものといえる。そして近代の自然科学もこの流れの中に存在する。遠近法がどのように成立し、われわれの認識手段にどのような影を落としているかを考え直してみたい。さらに(可能であれば)自然科学に対する遠近法の影響にまで言及したい。

## 1.5 歴史という記述

歴史とは単なる事実の集成ではない。歴史を記述することは、お互いに関連しあい動的に生起してきた事実間の関係にある論理、一貫した歴史観からながめ、一つの織物を構成することである。膨大な事実の中で、何を取捨選択するか、何と何をどう関連付けるかによって、記述された歴史は大きく姿を変えることになる。複雑に絡み合いながら流れてきた時間をいかに記述していくかということは、価値観をつくってゆくことである。その意味で、歴史と記録は異なるものであるといえる。歴史には「主体性」がある。

歴史とは何であり、何故必要とされるのか。時間を遡ることは不可能であるし、生まれる前の記憶を辿る事はできない。しかし世界にあるものは全て時間的背景をもっていて、理解するためにはそれを知らなくてはならない。歴史はこのような場合の認識手段となっている筈である。

記述に主体性を含まれてくるという事は、力学系の相空間の中で絡み合う軌道をほぐし、意味づけしていかなくてはならない我々の思考の過程においても同様ではないだろうか。例えば、自由度の大きい力学系の相空間は一人の人間にとって把握するのにあまりにも複雑で、どの軌道のどの部分を詳しく見るかは、それを研究する者によって変わってくるであろう。こういった部分も含めて、歴史記述の問題と力学系、進化などとの研究へのつながりを議論したい。

## 2 展望:形式性と運動

動的な記述の必要性は、並列的に動くシステムを考えてみるとよくわかる。計算機ネットワークの問題はその最たるものの一つで、そういったものを逐次処理的な言語で設計しなくてはならないプログラミングにおいてはフラストレーションがたまっているのではないと思われる。

モジュールがそれぞれ独立に運動するという事は物理的に見れば自然であるが、設計で記述する事は困難である。何故なら、システムの外部まで含んだ記述をしなくてはならないが、設計において外部は直接扱えない。さらに、人間は「本来は並列」であるモジュールをあたかも逐次的な動作をするかのように記述しがちである。

このことは言語論理というものの性質に依存する現象かも知れない。しかし、例えば計算機科学が辿って来た進歩の道筋は、現象を如何にして干渉のしない要素に分割するかという手法の追求である。それは、論理的な記述方法が動的性と相容れないという事を示していると考えられる。計算機のハードウェアにおいても徹底的に並列性を殺して逐次性を維持している。

次に、生命における同様な状況を考える。例えば、DNAの役割である。DNAはプログラムに例えられる事があるが、遺伝形/表現形の問題を別にしても生物の未来を「記述」するものと考ええる事はこれまでの議論から困難(あるいは不可能)であると考えられないだろうか。記述されている部分の他に一体どういった要素が関係していると考えられるか。また、動的なもののコーディングの問題は、脳の分野でも同様に問題になっていることを付記しておく。

ここでは、一応の総括としていくつかの分野の立場からの展望を論じる事にする。各分野において普段は論文に書いたりする事の無い、「暗黙の了解」的な部分を引き出し、それらを再検討する事によって新たな展開を見出せるようにしようと意図している。

## 付記: 複雑系夏の学校準備会について

1993 年の京大基研の研究会「複雑系 2」終了後の E-mail 討論により、複雑系にもいわゆる「夏の学校」の様な合宿形式で密度の濃い議論が出来るような研究会をもちたいという動きがたかまった。E-mail による討論の他に、1994 年 2 月には統数研で会議を行った。

また、準備会のうち、以下の方々の御協力を得ています(50 音順、敬称略)。池上高志(東大教養)、伊庭幸人(統数研)、中川尚子(京大理/D2)、安富歩(京大人文研)

## 連絡先

E-mail: CS-workshop@complex.c.u-tokyo.ac.jp

山本知幸(郵便はこちらへ)

〒153 目黒区駒場 3-8-1 東京大学教養学部 基礎科学科 金子研

Tel: 03(5454)6732 Fax: 03(5454)4311(学科共通)

E-mail: yamamoto@complex.c.u-tokyo.ac.jp

橋本敬

〒153 目黒区駒場 3-8-1 東京大学教養学部 物理学教室 池上研

Tel: 03(5454)6535, 6556

E-mail: toshiwo@sacral.c.u-tokyo.ac.jp

山口明宏

〒060 札幌市北区北 10 条西 8 条 北海道大学 理学部数学科 津田研

Tel: 011(716)2111 ext 2625 (昼間のみ)

fax: 011-727-7305 (学科共通) E-mail: aki@math.hokudai.ac.jp

## 統数研研究会 「動的システムの構築と記述に向けて」

場所: 統計数理研究所 (東京都港区南麻布 4-6-7)

日程: 1994 年 12 月 14(水)・15(木)

世話人: 橋本 敬 (東大教養/D2)、山本知幸 (東大教養/D1)、山口明宏 (北大理/D2)

連絡先:

E-mail: CS-workshop@complex.c.u-tokyo.ac.jp

〒 153 目黒区駒場 3-8-1 東京大学教養学部 基礎科学科 金子研 山本知幸

Tel: 03(5454)6732 Fax: 03(5454)4311

E-mail: yamamoto@complex.c.u-tokyo.ac.jp

この研究会では複雑系の問題の中でも特に動的な側面に注目し、「時間的に発展する関係性」というものを理解する手段を追求します。

プログラム:

< 12/14 (水)>

10:00 - 10:20 世話人趣旨説明 橋本敬 (東大教養)

座長: 山本知幸 (東大教養)

10:20 - 11:20 「認知という実践」 福島真人 (国際大 GLOCOM)

11:20 - 11:35 (討論)

11:35 - 12:35 「力学系的視点に基づいた自律ロボットによる行動学習」  
谷淳 (ソニー CSL)

12:35 - 12:50 (討論)

(昼休み)

座長: 佐野 彰 (北陸先端大情報)

14:30 - 15:30 「自律分散メカニズムによる冗長多関節ロボットアームの制御」  
木村真一 (郵政省通信総合研)

15:30 - 15:45 (討論)

(休憩)

座長: 橋本敬 (東大教養)

16:00 - 17:00 「目の思想」 高山宏 (都立大人文)

17:00 - 17:15 (討論)

18:00 - 懇親会 (予定)

< 12/15 (木)>

座長: 山口明宏 (北大理)

10:00 - 11:00 「森林—空間構造の形成と種の多様性」 甲山隆司 (北大理)

11:00 - 11:15 (討論)

11:15 - 12:15 「力学系の世界像」 島田一平 (日大原研)

12:15 - 12:30 (討論)

(昼休み)

(プログラムのつづき)

座長: 中川尚子 (京大理)

14:00 - 15:00 「セルオートマトンによる結合写像格子の模倣  
— 有限機械による空間-時間的現象の模倣 —」  
後藤謙太郎 (北大理)

15:00 - 15:15 (討論)

(休憩)

15:30 - 16:30 パネルディスカッション

登壇者:

江頭 進 (京大経済)

谷 淳 (ソニー CSL)

中川尚子 (京大理)

福島真人 (国際大 GLOCOM) 司会: 山本知幸 (東大教養)

16:30 - 16:45 世話人総括 山本知幸 (東大教養)

17:00 - 18:00(予定) 夏の学校世話人会 (下記参照)

\*積極的に議論に加わって下さる方の参加を歓迎いたします\*

会期中(または終了後)に複雑系夏の学校に向けて、「世話人会」を開催します。今後の活動を議論する予定です。興味のある方は是非参加して頂きたいと思います。

\*参加なさる方は(人数等の把握が必要なので)連絡をおねがいします。E-mail 可です。所属、連絡先を明記して下さい。

・地方の方には申し訳ありませんが旅費の援助は難しいと思われまますのであらかじめ御了承下さい。

・統計数理研究所は営団地下鉄日比谷線広尾駅より徒歩約7分です。有栖川公園方面出口より第一勧銀左折、ナショナル麻布スーパーマーケットの2叉路を右折。公園を左手に見つつ坂を登ってドイツ大使館、自治大学の先です。

・この研究会は、統計数理研究所 共同研究 6-共会-9「シミュレーション科学と統計科学の接点」(予算執行責任者 伊庭幸人)によって支援されています。